

Das Geiger-Müller-Zählrohr

Versuch 703

Marcel Kebekus
marcel.kebekus@tu-dortmund.de

Abgabe: 26.05.2020

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1	Theorie	3
1.1	Aufbau	3
1.2	Funktionsweise und Ansprechvermögen	3
1.3	Spannungsabhängigkeit	4
1.4	Totzeit	5
1.5	Erholungszeit	6
1.6	Nachentladung	6
1.7	Charakteristik	6
2	Durchführung	7
2.1	Messschaltung	7
2.2	Aufnahme der Charakteristik	8
2.3	Bestimmung der Totzeit	8
2.4	Bestimmung des Zählrohrstroms	8
3	Auswertung	9
3.1	Charakteristik Geiger-Müller-Zählrohrs	9
3.2	Bestimmung der Totzeit	10
3.3	Freigesetzte Ladungen	11
4	Diskussion	12
	Literatur	13
5	Anhang	14

Zielsetzung

1 Theorie

1.1 Aufbau

Das Geiger-Müller-Zählrohr besteht aus einem, mit einem Gasgemisch gefülltem, Hohlzylinder. Der Mantel des Zylinders bildet dabei die Kathode (bei einem Radius r_k). Im Zentrum des Volumen bildet ein Draht die Anode mit dem Radius r_a . Eine angelegte Spannung U erzeugt somit ein radialsymmetrisches elektrisches Feld.

Die eine Seite des Zylinders ist verschlossen, während die andere Seite über ein Mylarfenster verfügt. Durch die geringe Massendichte, kann somit ionisierende Strahlung durch dieses dünne Material einfallen.

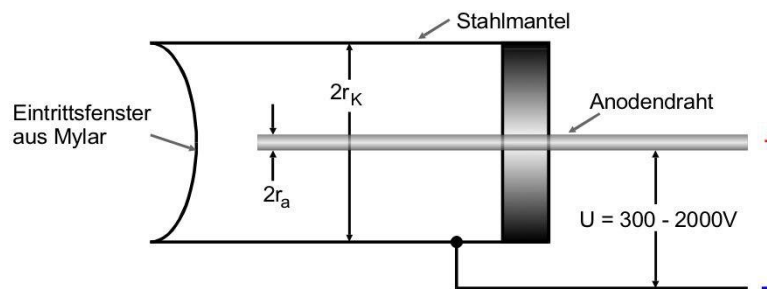


Abbildung 1: Dargestellt ist der Querschnitt eines Geiger-Müller-Zählrohrs mit dem Anodendraht, dem Kathodenzyylinder und dem Mylarfenster.[1, S. 220]

1.2 Funktionsweise und Ansprechvermögen

Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Teilchen im Zählrohr nachgewiesen wird, versteht man als Ansprechvermögen. Während bei α - und β -Teilchen, aufgrund ihres hohen Ionisationsvermögens, der Nachweis bei nahezu 100% liegt, ist das Ansprechvermögen für Photonen mit Materie kleiner (ca. 1%, lediglich hohe γ - Intensitäten können vermessen werden).

Tritt ein Teilchen, welches die Gasatome ionisieren kann, in die Kammer ein, so ionisiert es Atome des entarteten Gasgemisches (unter anderem Argon). Dies tut das Teilchen so oft, bis dieses so wenig Energie besitzt, um weitere Ionisationen durchzuführen. Die frei gewordenen Elektronen beschleunigen aufgrund des angelegten Feldes auf die Anode zu. Treffen mehrere Elektronen dort auf, kann dies als Impuls registriert werden. Für eine Ionisation eines Argon Atoms sind im Durchschnitt 26eV nötig. Über die Anzahl der registrierten Impulse, kann somit auf die Energie des eingefallenden Teilchens zurückgeschlossen werden. Es gilt, die Anzahl der Ionisationen sind proportional zu der Energie des einfallenden Teilchens, wenn gleich die gemessenen Impulse auch stark von der angelegten Spannung U abhängen.

1.3 Spannungsabhängigkeit

Wie oben erwähnt, sind die Anzahlen der gemessenen Impulse stark von der angelegten Spannung abhängig. Die verschiedenen hohen Betriebsspannungen U führen zu verschiedenen Effekten, die in 5 Bereichen aufgeteilt werden können.

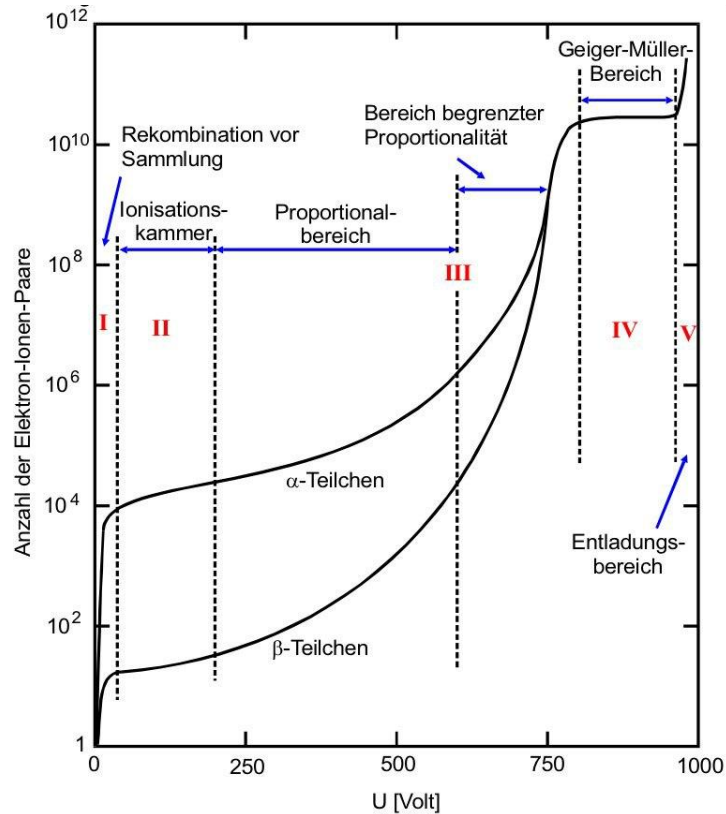


Abbildung 2: Dargestellt ist die Anzahl der erzeugten Elektron-Ionenpaare als Funktion der Spannung U für ein Proportionalzählrohr[1, S. 221]

Bereich 1

Ist die Zählrohrspannung klein (vgl. Bereich 1 in Abb. 2) so erreichen nur wenige der frei gewordenen Elektronen den Anodendraht, da sie aufgrund von Rekombinationen wieder verloren gehen.

Bereich 2 - Ionisationskammer

Mit höherer Zählrohrspannung nimmt die Rekombinationswahrscheinlichkeit ab und es kommen nahezu alle Elektronen zum Anodendraht. Hierbei ist dann der entstandene Ionisationsstrom proportional zur Energie und zur Intensität der einfallenden Teilchen. Da die Ionisationsströme allerdings klein sind, benötigt es große Strahlungsintensitäten.

Bereich 3 - Proportionalzählrohr

Die Feldstärke ist hierbei groß genug, sodass die freien Elektronen neben den Zusammenstößen mit den Argon-Atomen auch genügend Energie besitzen, um weitere Atome zu ionisieren. Diese Stoßionisation löst wiederum Elektronen, die den gleichen Prozess durchlaufen, sodass es zu einer Townsend-Lawine kommt. Pro einfallendem Teilchen kommt es somit zu einer Ansammlung an Ladung Q an der Anode, sodass dies als Impuls wahrgenommen werden kann. Dabei ist Q proportional zur Energie des einfallenden Teilchens.

Bereich 4 - Geiger-Müller-Zähler

Oberhalb des Proportionalbereichs ist die Ladung Q unabhängig von der Primäri-ionisation. Die Entladung findet hierbei nicht auf lokalisierten Elektronenlawinen statt, sondern aufgrund von UV-Photonen, die bei der Anregung von Argon mit Elektronen entstehen, ausgedehnt längs des gesamten Zählrohres. Die UV-Photonen sind somit aufgrund ihrer Ladungsneutralität Ursprung der Elektronenlawinen im gesamten Zählrohr.

Die am Ende gesammelte Ladung ist nun vom Volumen des Zählrohres und dessen Spannung abhängig und kann nur noch zur Intensitätsmessung der eingetroffenen Strahlung verwendet werden und nicht zur Messung derer Energie.

Bereich 5 - Entladungsbereich

Hier ist nun die Betriebsspannung U so groß, dass durch ein geladenes Teilchen eine selbstlaufende Ionisation ausgeführt wird, die zur Dauerentladung führen kann. Der entstehende hohe Ionisationsstrom kann dabei so groß sein, dass er das Messgerät zerstört.

1.4 Totzeit

Aufgrund der großen Masse der Ionen fließen diese nicht direkt zur Kathode ab, es entsteht eine positive Raumladung. Das führt zu einem vorübergehenden Stop der Stoßionisation. Somit wird eintreffende Strahlung nicht detektiert.

Erst nachdem die Ionen zum Zylindermetall gewandert sind, steigt die Feldstärke an, was eine Lawinenbildung wieder möglich macht. Diese Zeit nennt man Totzeit T .

Die Totzeit verfälscht somit die Intensität N . Für die tatsächliche einfallende Intensität N_W gilt

$$N_W = \frac{N_r}{1 - TN_r}, \quad (1)$$

wobei N_r die gemessene (verfälschte) Intensität ist. Für die gemeinsame Impulsrate N_{1+2} zweier Quellen N_1 und N_2 folgt für die Totzeit T

$$T \approx \frac{N_1 + N_2 - N_{1+2}}{2 \cdot N_1 N_2}, \quad (2)$$

mit der Annahme $T^2 N^2 \gg 1$.

1.5 Erholungszeit

Die Ionen müssen vollständig neutralisiert sein, damit die Ladungsimpulse Q wieder ihre volle Höhe erreichen, wenn Strahlung erneut eintrifft.

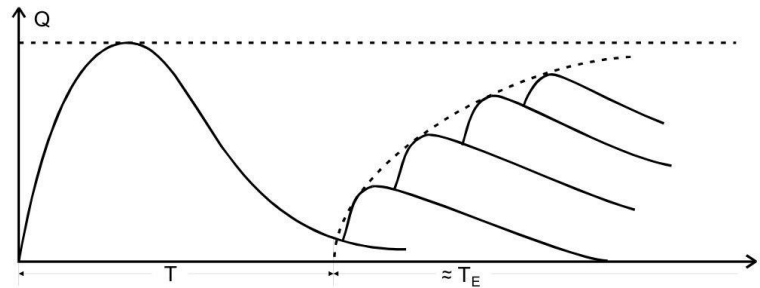


Abbildung 3: Dargestellt ist der Unterschied zwischen Totzeit T und der Erholungszeit T_E . Die Erholungszeit lässt sich in der Praxis nur ungenau bestimmen.[1, S. 223]

Die Zeit zum Erreichen der ursprünglichen Ladungsimpuls Q Höhe nennt man Erholungszeit T_E . Diese schließt sich der Totzeit an.

1.6 Nachentladung

Treffen Ionen auf den Kathodenmatel, so können sie Elektronen aus der Metalloberfläche lösen. Diese Sekundärelektronen können somit, nach Eintreffen der Strahlung, zu weiteren Ausgangsimpulsen zu einem späteren Zeitpunkt führen. Somit folgt auf das Eintreffen eines einzelnen Teilchens zusätzliche Impulse.

Um diese Störsignale zu vermeiden, füge man Alkohldämpfe zum Argongas hinzu. Dies hat den Effekt, dass die Alkohlmoleküle bei einem Zusammenstoß mit den Argonatomen ionisiert werden und dann zur Kathode laufen. Aufgrund ihrer Struktur, führen die freiwerdenen Elektronen nicht zur Aussendung eines weiteren Elektrons, sondern zur Schwingungsanregung. Somit werden keine neuen Elektronen aus der Kathode freigesetzt und die Nachentladung erlischt.

1.7 Charakteristik

Die Charakteristik erhält man durch Auftragen der registrierten Teilchenzahl N gegen die angelegte Betriebsspannung U bei konstanter Strahlungsintensität der Quelle. Der mittlere lineare Teil der Kurve (vgl. Abb 6) wird Plateau genannt. Je näher dessen Steigung bei null ist und je länger dessen Verlauf, desto besser (idealer) arbeitet das Zahlrohr. Über den Anodenstrom I lassen sich die freigesetzten Ladungen pro einfallendem Teilchen Z ermitteln.

$$Z = \frac{I}{eN}, \quad (3)$$

wobei N die gemessene Impulsrate und e die Elementarladung ist.

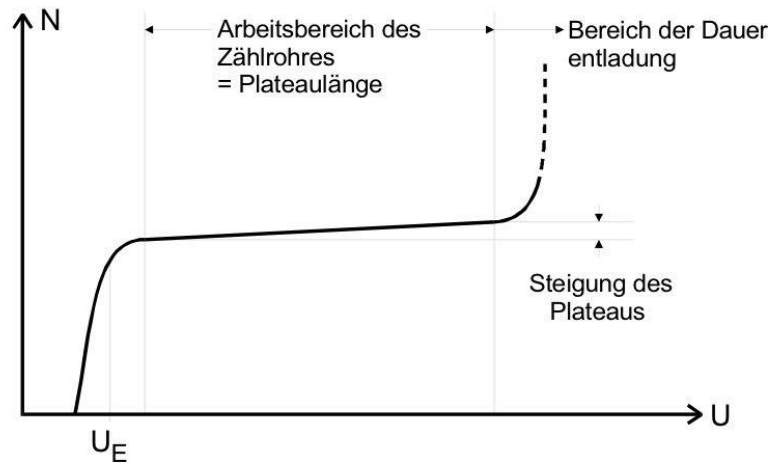


Abbildung 4: Gezeigt ist die Zählrohrcharakteristik.

Bei der Spannung U_E setzt der Auslösebereich ein, gefolgt von dem Plateau. Am Ende nimmt die gemessene Teilchenzahl N wieder zu. Dies resultiert aus einer gezündeten Dauerentladung ionisierender Teilchen, die zu einer selbständigen Gasentladung führt.[1, S. 224]

2 Durchführung

2.1 Messschaltung

Die Ladungen Q , die sich am Anodendraht sammeln fließen über einen Widerstand R ab und werden über einen Spannungsimpuls über einen Kondensator C ausgekoppelt, über einen Verstärker vergrößert und somit vom Zählgerät registriert.

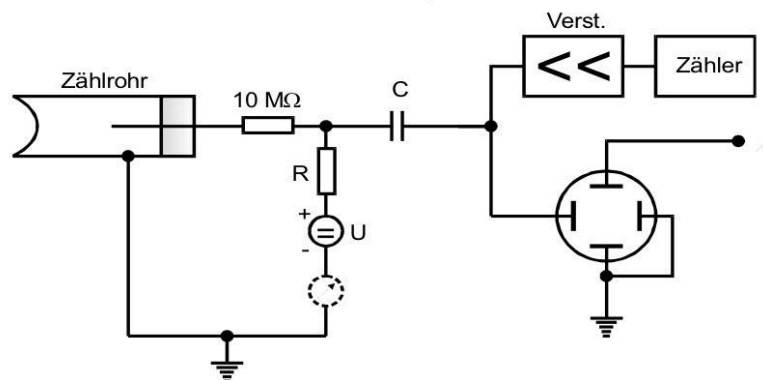


Abbildung 5: Darstellung der Messapparatur mit dem Zählrohr und der Schaltung von Widerstand, Kondensator, Verstärker und Zähler.[1, S. 226]

2.2 Aufnahme der Charakteristik

Gemessen wird die Zählrate einer β -Quelle in Abhängigkeit der Betriebsspannung U . $U \leq 700\text{V}$ sollte dabei eingehalten werden, um das Zählrohr durch einen zu hohen Intensitätsstrom nicht zu zerstören. Zudem übersteigt die Impulsrate nicht $100 / \text{s}$ damit die Totzeit-Korrektur vermieden werden kann.

Gemessen wird hierfür die Anzahl der Zerfälle pro Zeitintervall in Schritten von $\Delta U = 10\text{V}$.

2.3 Bestimmung der Totzeit

Für die Bestimmung der Totzeit können zwei Methoden genutzt werden.

Oszilloskop

Durch Ablesen der ersten beiden Peaks am Oszilloskop, welche die Spannungsimpulse graphisch visualisiert, kann die Totzeit direkt bestimmt werden.

Zwei-Quellen-Methode

Mit einer zusätzlichen ^{204}Tl -Quelle die näher an das Geiger-Müller Zählrohr gerückt ist, lässt sich über Gl. 2 mit den gemessenen Zählraten die Totzeit T berechnen.

2.4 Bestimmung des Zählrohrstroms

Mithilfe Gl. 3 kann aus dem mittleren Zählstrom I die freigesetzten Ladungen pro eingefallendem Teilchen berechnet werden.

3 Auswertung

3.1 Charakteristik Geiger-Müller-Zählrohrs

Mit einer Integrationszeit von 60s wird nun die gemessene Intensität N gegen die Betriebsspannung U aufgetragen. Die gemessenen Impulse N sind Poisson verteilt, sodass der Fehler

$$\Delta N = \sqrt{N},$$

entspricht.

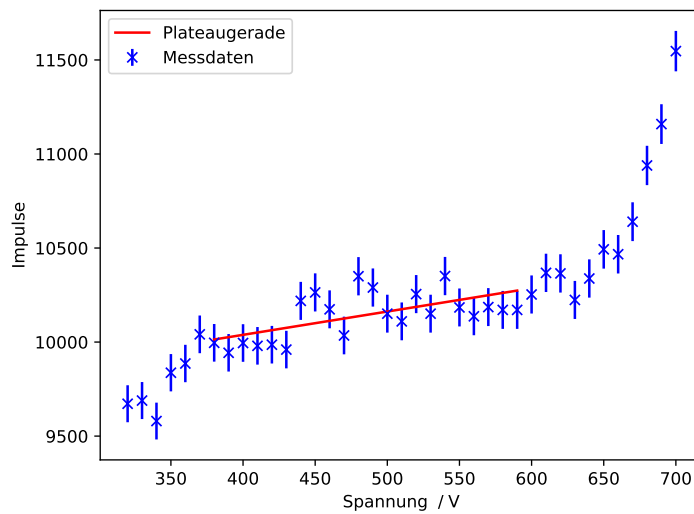


Abbildung 6: Dargestellt sind die Impulse gegen die Betriebsspannung U aufgetragen. Die lineare Ausgleichsgerade, liegt im Plateaubereich bei einer Spannung von 380V - 590V.

Für die Ausgleichsgerade des Plateaubereichs mit der Geradengleichung

$$N = m \cdot U + n, \quad (4)$$

ergeben sich die Parameter

$$\begin{aligned} \text{Steigung } m &= (1,2 \pm 0,4) \frac{1}{\text{V}}, \\ \text{y-Abschnitt } n &= (9540 \pm 180). \end{aligned}$$

Für die Güte des Geiger-Müller-Zählrohrs ergibt sich aus der Steigung des Plateaubereichs die Steigung M in % pro 100 V

$$M = 1 - \frac{m \cdot 400\text{V} + n}{m \cdot 500\text{V} + n} = (1,2 \pm 0,35)\% \text{ pro } 100 \text{ V}.$$

3.2 Bestimmung der Totzeit

Zwei Quellen-Methode

Für die zwei Quellen Methode ergeben sich die Impulsraten N mit dem Poissonfehler und der Integrationszeit von 120s

$$N_1 = \frac{96941 \pm 310}{120\text{s}}, \quad N_2 = \frac{76518 \pm 277}{120\text{s}}, \quad N_{1+2} = \frac{158479 \pm 398}{120\text{s}},$$

damit ergibt sich mit Gl. 2 die Totzeit

$$T \approx (115 \pm 4)\text{s}, \quad (5)$$

mit dem Fehler

$$\Delta T = \sqrt{\left(\frac{N_{1+2} - N_1}{2N_1N_2^2} \cdot \Delta N_2\right)^2 + \left(\frac{N_{1+2} - N_2}{2N_1^2N_2} \cdot \Delta N_1\right)^2 + \left(-\frac{1}{2N_1N_2} \cdot \Delta N_{1+2}\right)^2}$$

Oszilloskop Methode

Liebt man die Zeit zwischen dem ersten (der helle Peak) und zweiten Impuls ab, so entspricht der Abstand etwa einem Kästchen. Somit ist die Totzeit

$$T_{Osz} \approx 100\mu\text{s}$$

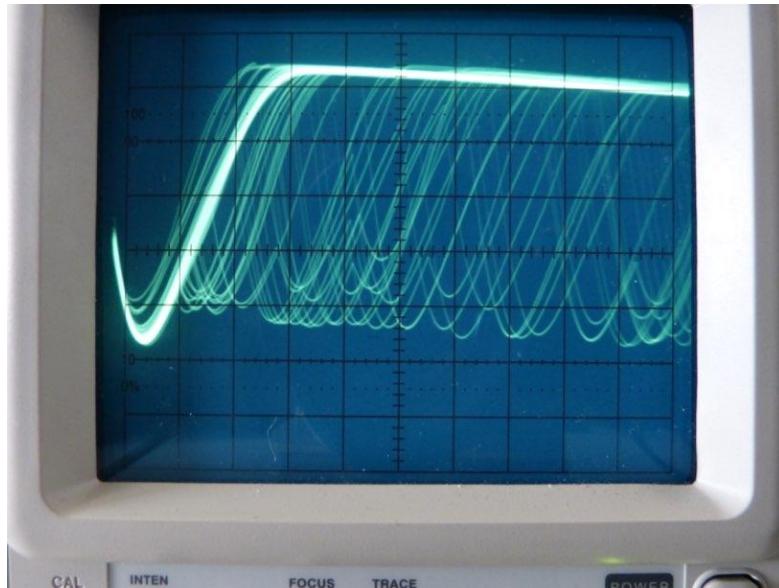


Abbildung 7: Oszilloskopbild aufgenommen mit einer Zeitachse von $100\mu\text{s}/\text{DIV}$.

3.3 Freigesetzte Ladungen

Nach Gl. 3 lassen sich die pro einfallendem Teilchen freigesetzten Ladungen berechnen. Für den Fehler folgt

$$Z = \sqrt{\left(\frac{1}{eN} \cdot \Delta I\right)^2 + \left(\frac{1}{eN^2} \cdot \Delta N\right)^2}.$$

Somit ergibt sich

I / nA	Impulsrate $/ \frac{1}{s}$	$Z / e \cdot 10^{10}$
300 ± 50	$163,9 \pm 1,7$	$1,14 \pm 0,19$
400 ± 50	$166,6 \pm 1,7$	$1,50 \pm 0,19$
700 ± 50	$171,1 \pm 1,7$	$2,55 \pm 0,18$
800 ± 50	$169,2 \pm 1,7$	$2,95 \pm 0,19$
1000 ± 50	$169,7 \pm 1,7$	$3,68 \pm 0,19$
1030 ± 50	$170,9 \pm 1,7$	$4,75 \pm 0,19$
1040 ± 50	$174,9 \pm 1,7$	$5,00 \pm 0,18$
1080 ± 50	$192,4 \pm 1,8$	$5,84 \pm 0,17$

Tabelle 1: Die Tabelle zeigt die Anodenströme, Impulsraten und den daraus resultierenden freigesetzten Ladungen pro einfallendem Teilchen.

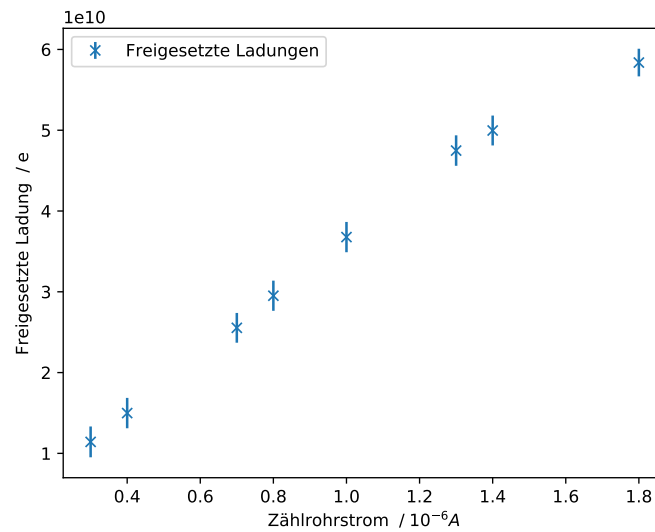


Abbildung 8: Aufgetragen ist die freigesetzte Ladung gegen den Zählrohrstrom.

4 Diskussion

Abb. 6 zeigt die Charakteristik des Geiger-Müller-Zählrohres. Für die Eigenschaften des Zählrohres ergeben sich

$$\text{Plateaubereich: } 380 - 590\text{V}$$

$$\text{Plateauanstieg: } (1.2 \pm 0.35)\text{V}^{-1}\%$$

Zudem wird in der Abbildung deutlich, dass die Betriebsspannung unterhalb von 650V bleiben sollte, um den Entladungsbereich des Zählrohres nicht zu erreichen und diese somit nicht zu zerstören.

Die Totzeit

$$T = (115 \pm 4)\mu s$$

$$T_{Osz} = 100\mu s$$

weichen 15% von einander ab. Beide Werte liegen dennoch in einem typischen Bereich für die Totzeit $T_{Lit} \approx 100\mu s$ [4] eines Geiger-Müller-Zählrohres.

In Abb. 8 wird deutlich, dass die freigesetzte Ladung pro einfallendem Teilchen proportional zur gemessenen Stromstärke I an der Anode ist.

Literatur

- [1] Tu Dortmund. „Versuch V703: Das Geiger-Müller-Zählrohr“. In: ().
- [2] John D. Hunter. „Matplotlib: A 2D Graphics Environment“. Version 1.4.3. In: *Computing in Science & Engineering* 9.3 (2007), S. 90–95. URL: <http://matplotlib.org/>.
- [3] Travis E. Oliphant. „NumPy: Python for Scientific Computing“. Version 1.9.2. In: *Computing in Science & Engineering* 9.3 (2007), S. 10–20. URL: <http://www.numpy.org/>.
- [4] *Zählrohr*. URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Z%C3%A4hlrohr#Geiger-M%C3%BCller-Z%C3%A4hlrohr>.

5 Anhang

U / V	N / Imp		U / V	N / Imp
320	9672		520	10255
330	9689		530	10151
340	9580		540	10351
350	9837		550	10184
360	9886		560	10137
370	10041		570	10186
380	9996		580	10171
390	9943		590	10171
400	9995		600	10253
410	9980		610	10368
420	9986		620	10365
430	9960		630	10224
440	10219		640	10338
450	10264		650	10493
460	10174		660	10467
470	10035		670	10640
480	10350		680	10939
490	10290		690	11159
500	10151		700	11547
510	10110			

Tabelle 2: Messwerte der Kennlinie des Geiger-Müller-Zählrohrs mit einer Integrationszeit von 60s

U / V	$I / \mu\text{A}$
350	0,3
400	0,4
450	0,7
500	0,8
550	1,0
600	1,3
650	1,4
700	1,8

Tabelle 3: Messdaten zum Zählrohrstrom.